

Аппаратно-программный комплекс акустического мониторинга метеорологических полей в пограничном слое атмосферы

¹КАРПУШИН П.А., ^{1,2}КРАСНЕНКО Н.П., ³ПОПОВ Ю.Б., ^{1,3}ПОПОВА А.И,
¹ПОПОВА К.Ю., ^{1,2}РАКОВ А.С., ²РАКОВ Д.С.

¹ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ, РОССИЯ, ТОМСК,

²ИНСТИТУТ МОНИТОРИНГА КЛИМАТИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ СО РАН РОССИЯ, ТОМСК,

³СУРГУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ, РОССИЯ, Г. СУРГУТ.

Докладчик: **Карпушин Павел Александрович**

В докладе приводятся результаты разработки и создания макета информационно-измерительной системы мониторинга атмосферы в виде аппаратно-программного комплекса (АПК) измерения, численного восстановления, пространственного и временного прогнозирования мезомасштабных метеорологических величин (температурно-ветровых полей) и турбулентности в приземном и пограничном слоях атмосферы, работающего на основе данных получаемых с макетной сети распределенных по ограниченной территории метеорологических измерителей.

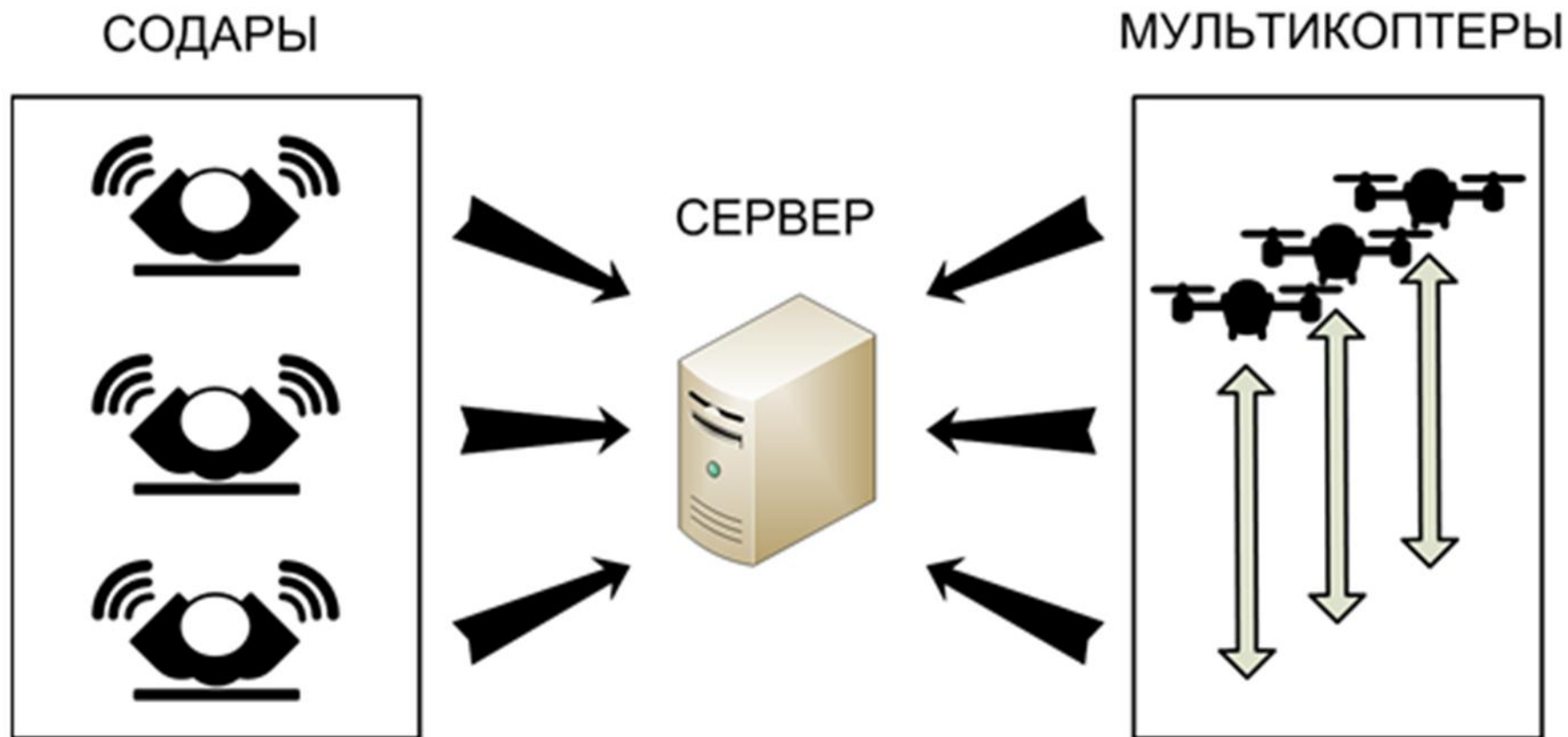
Предложена концепция применения авианесущих мультироторных платформ (мультикоптеров) для верификации дистанционных метеоизмерений (ДМИ) в пограничном слое атмосферы с целью повышение качества сверхкраткосрочных метеорологических прогнозов

Структура АПК

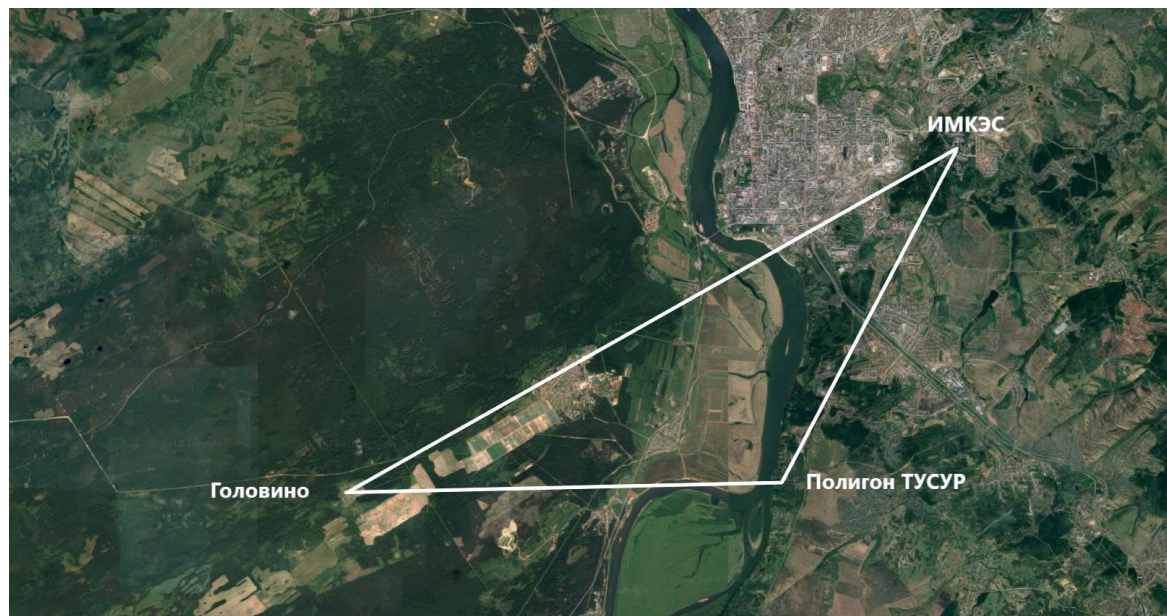
Основу разработанной макетной сети метеорологических измерителей составляют содавы, программно-алгоритмический комплекс (ПАК), система передачи данных и сервер. ПАК реализован на основе динамико-стохастической модели с использованием линейной фильтрации Калмана.

Макетная сеть дистанционных и локальных метеорологических измерителей состоит из разнесенных в пространстве трех измерительных точек (станций - ИС), каждая из которых содержит метеорологическое оборудование для измерения параметров приземного и пограничного слоев атмосферы и систему передачи измеряемых данных на сервер. Сервер располагается в корпусе ИМКЭС СО РАН. Он принимает данные с измерительной сети и обрабатывает полученную информацию с помощью программно-алгоритмического комплекса (ПАК).

Структура и технические характеристики комплекса средств метеорологических измерителей



Расположение измерительных пунктов



Место расположения измерительной точки	Широта	Долгота
Корпус ИМКЭС СО РАН, (г. Томск)	56°28'37.82"C	85° 3'22.29"B
Полигон ТУСУР, (п. Аникино)	56°22'47.25"C	84°57'41.91"B
Аэродром РОСТО (ДОСААФ), (д. Головино)	56°22'0.69"C	84°44'9.19"B

Расстояние между измерительными точками:

Корпус ИМКЭС СО РАН – полигон ТУСУР — 12,3 км.

Корпус ИМКЭС СО РАН – аэродром ДОСААФ — 23.3 км.

Аэродром ДОСААФ – полигон ТУСУР — 14 км.

Схема осуществления работы передачи данных

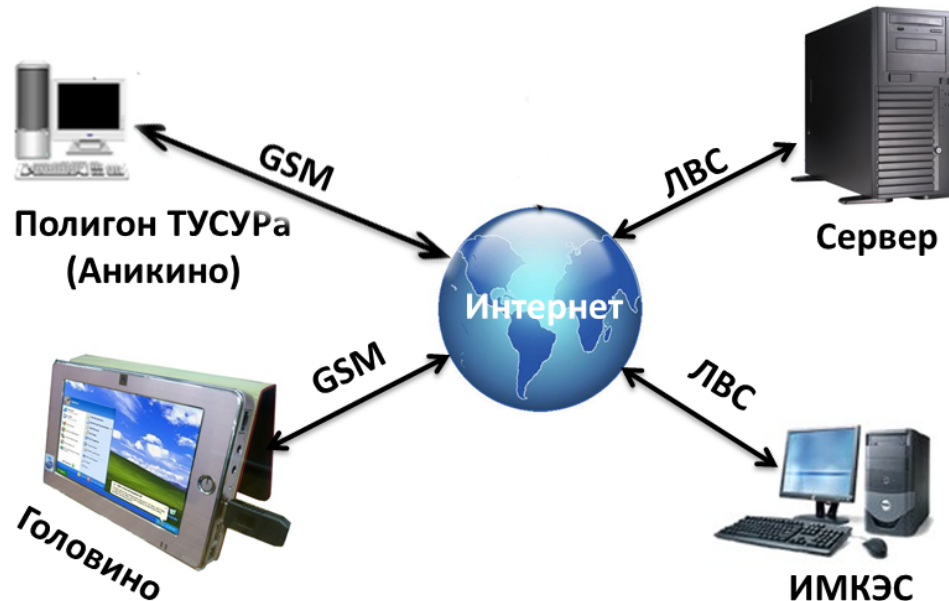


Рисунок 3. Схема осуществления работы передачи данных

Работа АПК

ПАК в свою очередь состоит из блока усвоения исходных данных, блока подготовки сеточных данных по заданной территории, блока подготовки начальных и граничных данных расчета, основного расчетного блока и блока визуализации и блока анализа и визуализации результатов расчета.

Согласно структурной схеме, АПК работает следующим образом. В каждой точке макетной сети дистанционных и локальных метеорологических измерителей проводятся измерения необходимых метеорологических величин. После этого по каналам системы передачи данных результаты измерений передаются на сервер, где аккумулируются в хранилище данных. Переданные данные из хранилища с помощью программного модуля загружаются в ПАК, где происходит их дальнейшая обработка. Результаты расчета данных отображаются на мониторе.

Макетная сеть дистанционных метеорологических измерителей, как и локальных для измерения параметров приземного слоя атмосферы, расположена в 3-х удаленных друг от друга на разные расстояния измерительных точек.

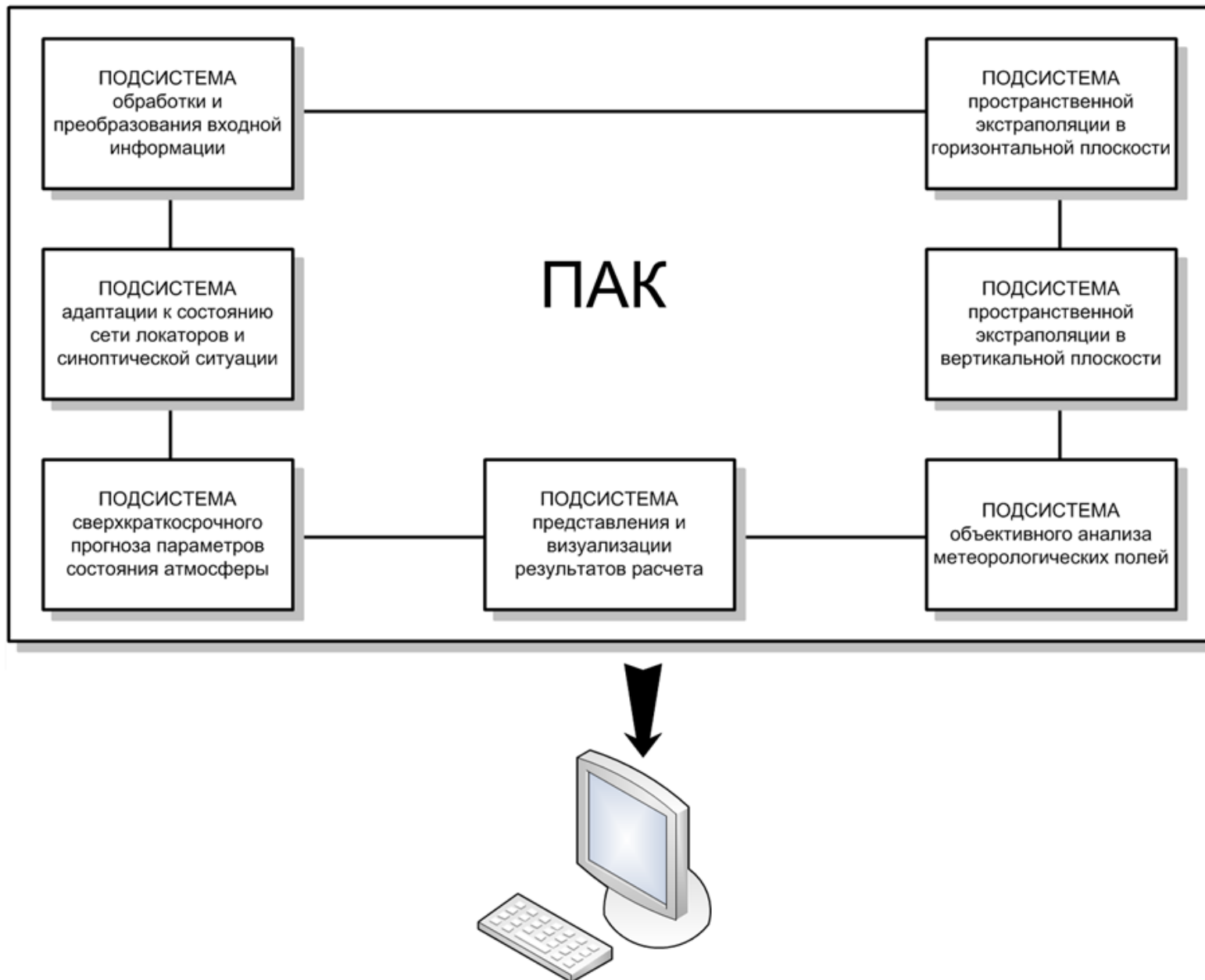


Рисунок 4 .Структура программно-алгоритмического комплекса

Программно-алгоритмический комплекс ПАК

Программно-алгоритмический комплекс (ПАК), реализующий динамико-стохастическую модель, разработан в виде многофункциональной профессионально-ориентированной вычислительной системы, и обеспечивает решение следующих функциональных задач:

- пространственной экстраполяции (интерполяции) температуры, турбулентности, составляющих скорости ветра и мезомасштабных ветровых сдвигов в приземном и пограничном слоях атмосферы, осуществляемой по результатам оперативного дистанционного акустического зондирования, в точку с заданными координатами, расположенную на неосвещенной данными наблюдений, территории;
- сверхкраткосрочного (с заблаговременностью до 12 ч.) прогноза параметров состояния атмосферы (температура, турбулентность, составляющие скорости ветра), выполняемого на основе оперативных данных дистанционного акустического зондирования для заданного района;
- пространственной экстраполяции вертикального профиля метеорологической величины с восстановлением значений на высотных уровнях, где данные измерений искажены или отсутствуют.

Беспилотный измеритель профилей метеопараметров атмосферы (БИАП)



Кураков С.А., Зув В.В. Беспилотный измеритель вертикальных профилей метеопараметров в пограничном слое атмосферы
//Оптика атмосферы и океана. 2016 Т.29. №11. С.994-999

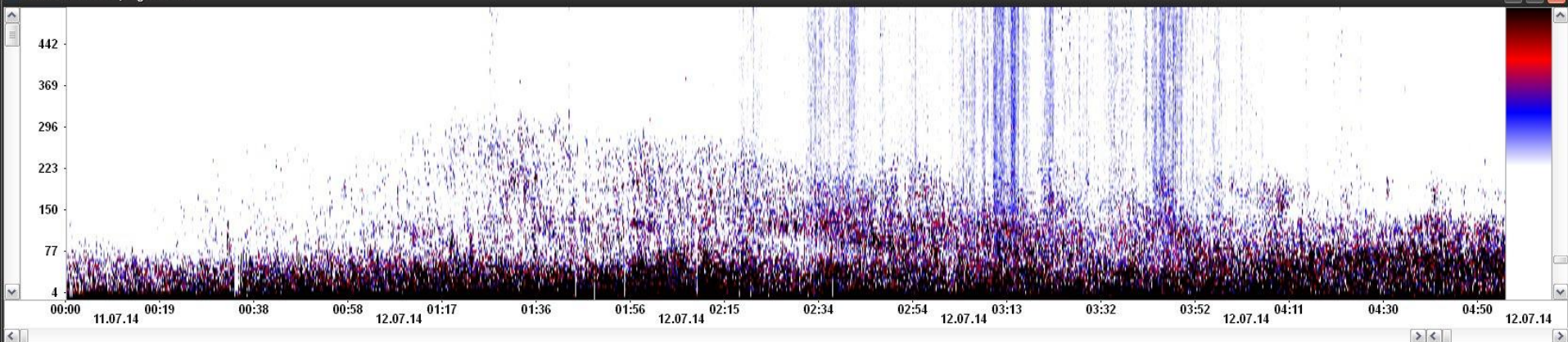
Размещение метеорологического оборудования



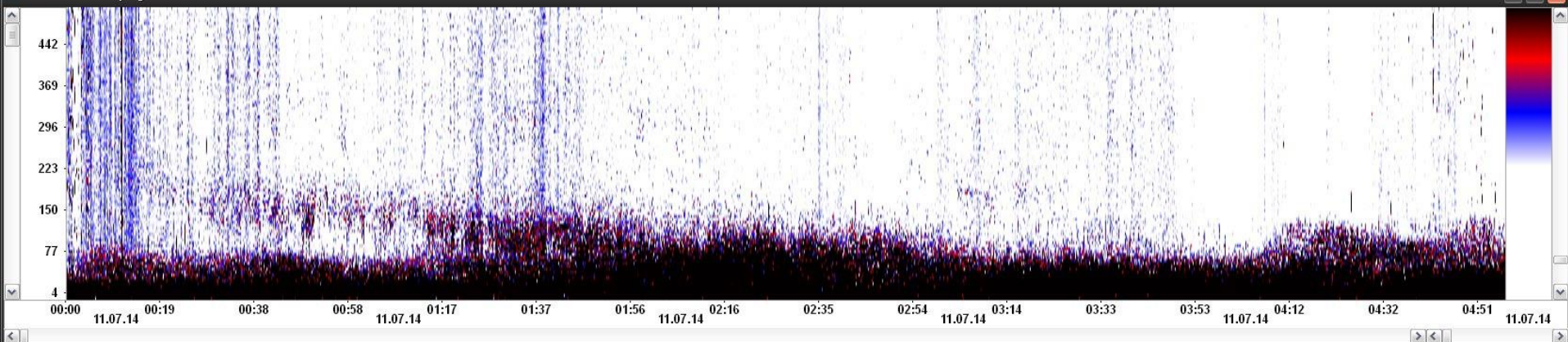
Рисунок 6. Размещение метеорологического оборудование на полигоне ТУСУР
(п. Аникино)



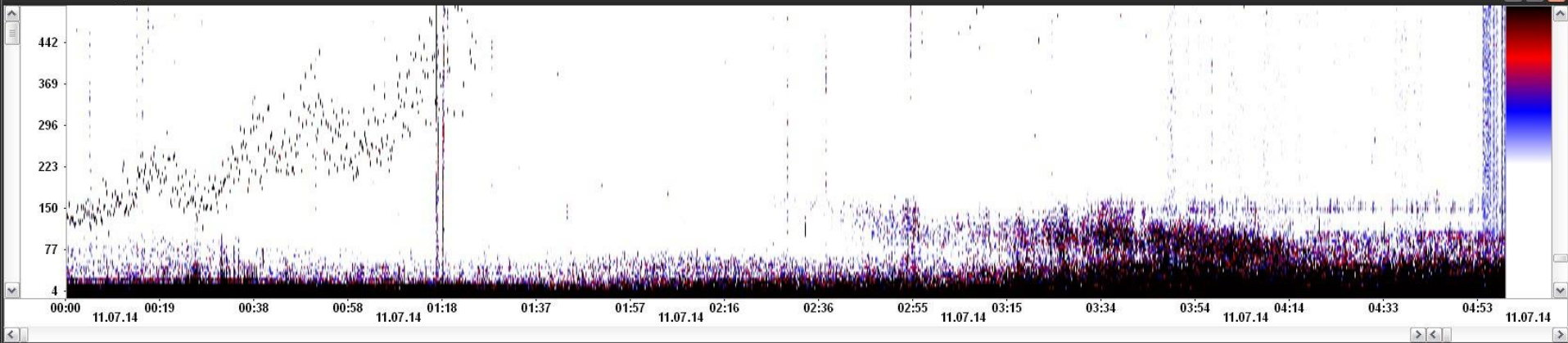
Zvuk3 Fax Viewer program v.1.01



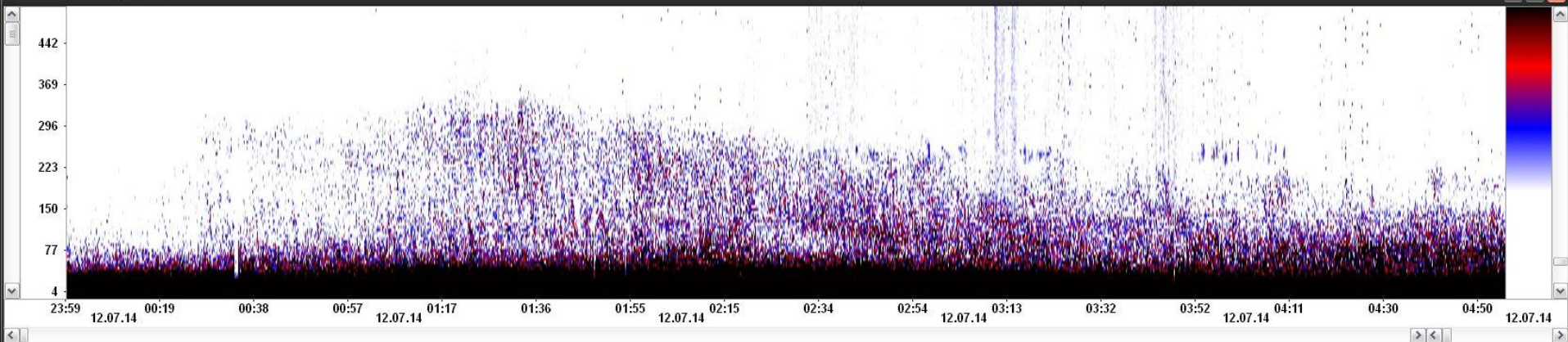
Zvuk3 Fax Viewer program v.1.01



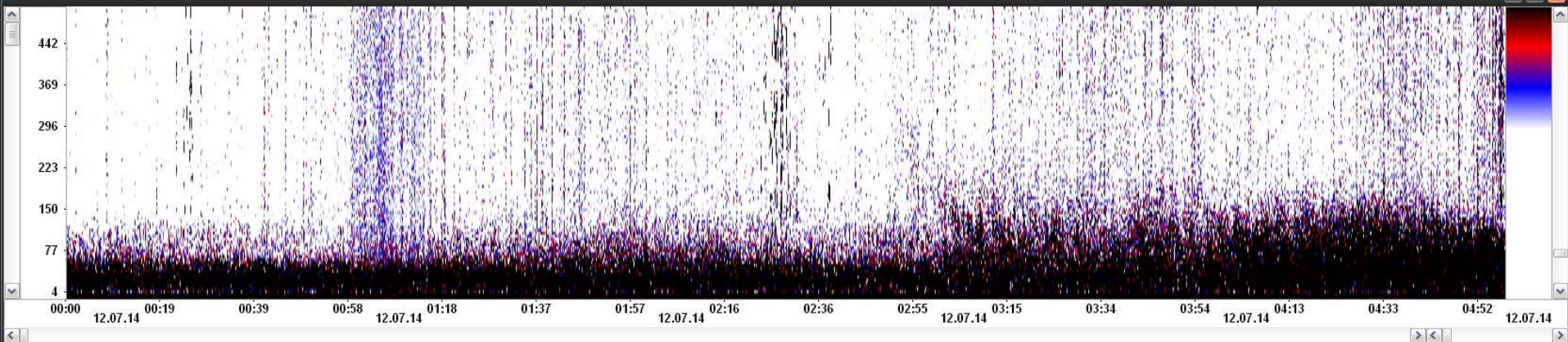
Zvuk3 Fax Viewer program v.1.01



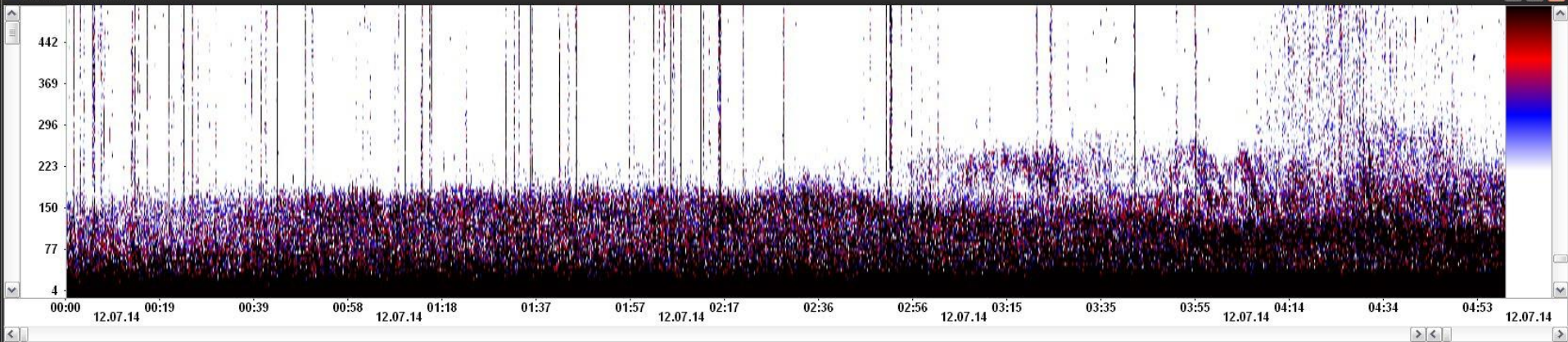
Zvuk3 Fax Viewer program v.1.01



Zvuk3 Fax Viewer program v.1.01



Zvuk3 Fax Viewer program v.1.01



ПОДСИСТЕМА обработки и преобразования входной информации

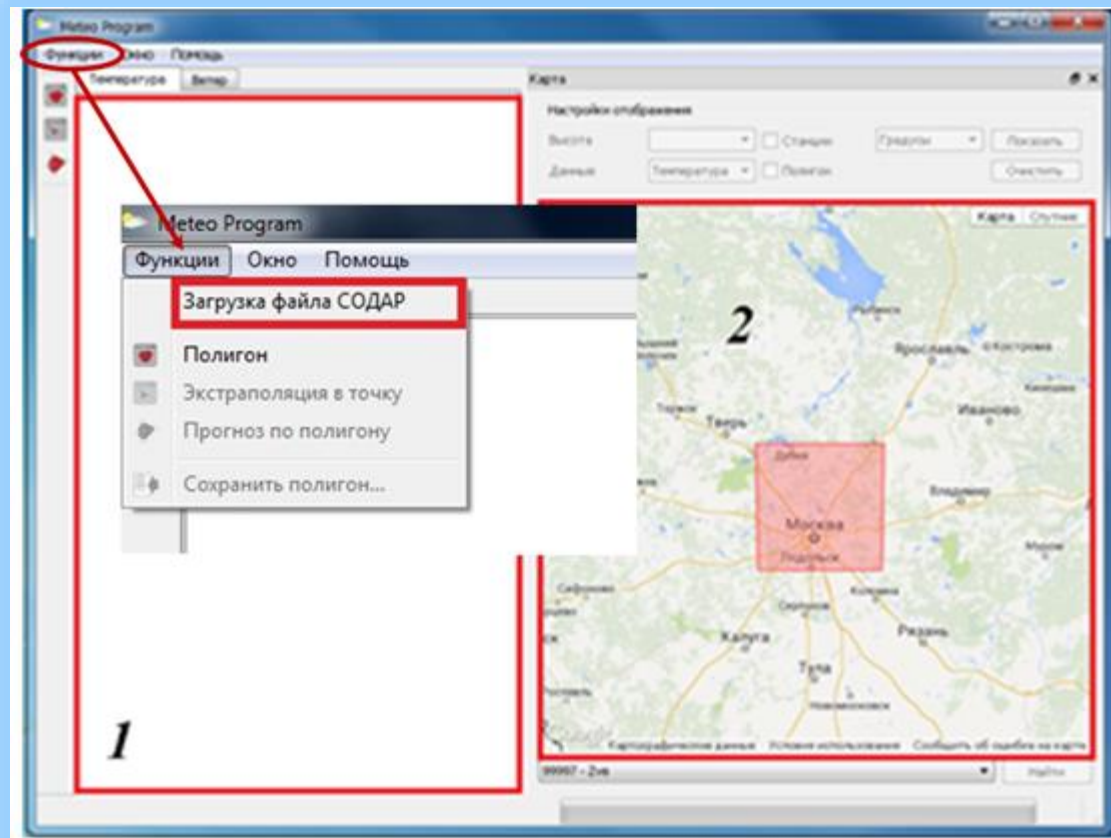


Рис. 10 Главное диалоговое окно приложения MeteoApp

ПОДСИСТЕМА сверхкраткосрочного прогноза и пространственной экстраполяции параметров состояния атмосферы

Используемая Математическая модель:

$$x_i(k+1) = x_i(k) \cdot (1 - \alpha \cdot \Delta t) \cdot (1 - \beta \cdot \Delta \rho_{i0}) \cdot (1 - \gamma \cdot \Delta h_{j0}) + \omega_i(k) \quad (1)$$



**Матрицы для синтеза фильтра
Калмана:**

$$\Phi(k) = \|1 - \alpha \cdot \Delta t\|$$

- Матрица
перехода

$$H(k) = \begin{bmatrix} \gamma_1 \cdot (1 - \beta \cdot \Delta \rho_{10}) \\ (1 - \beta \cdot \Delta \rho_{10}) \\ \gamma_2 \cdot (1 - \beta \cdot \Delta \rho_{10}) \\ \gamma_1 \cdot (1 - \beta \cdot \Delta \rho_{20}) \\ \dots \\ \gamma_2 \cdot (1 - \beta \cdot \Delta \rho_{n0}) \end{bmatrix}$$

- Матрица
наблюдений

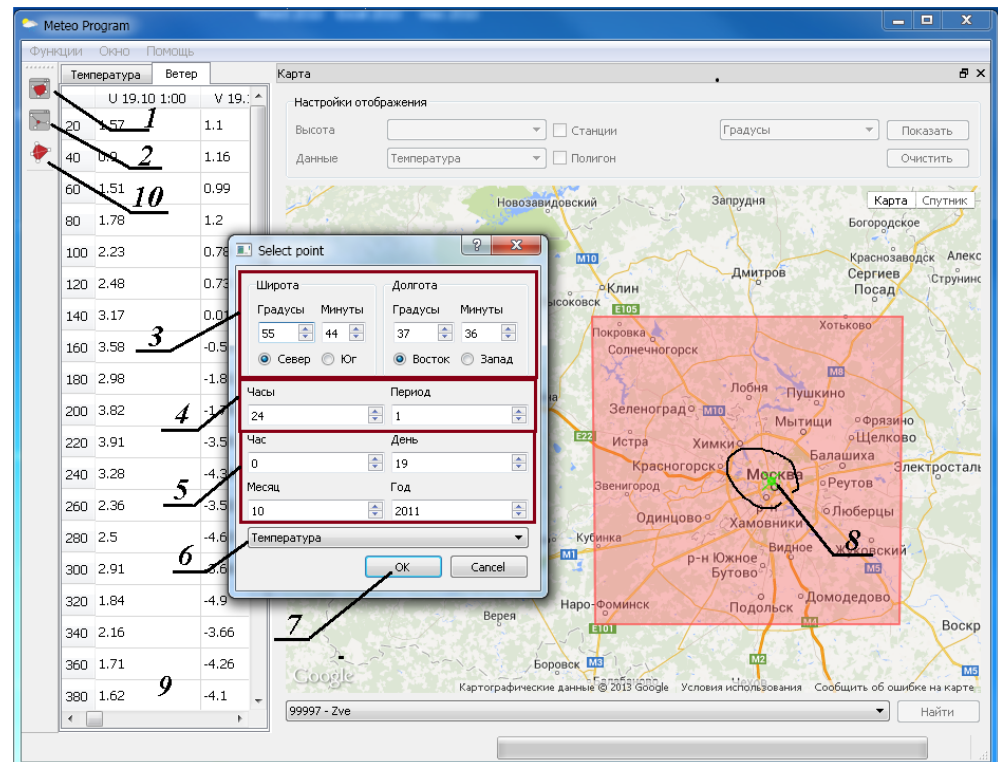


Рис11. Диалоговое окно Временного прогноза

Подсистема объективного анализа мезометеорологических полей

Используемая Математическая модель:

$$x_i(k+1) = x_i(k) \cdot (1 - \alpha \cdot \Delta t) \cdot (1 - \beta \cdot \Delta \rho_{i0}) \cdot (1 - \gamma \cdot \Delta h_{j0}) + \omega_i(k) \quad (1)$$

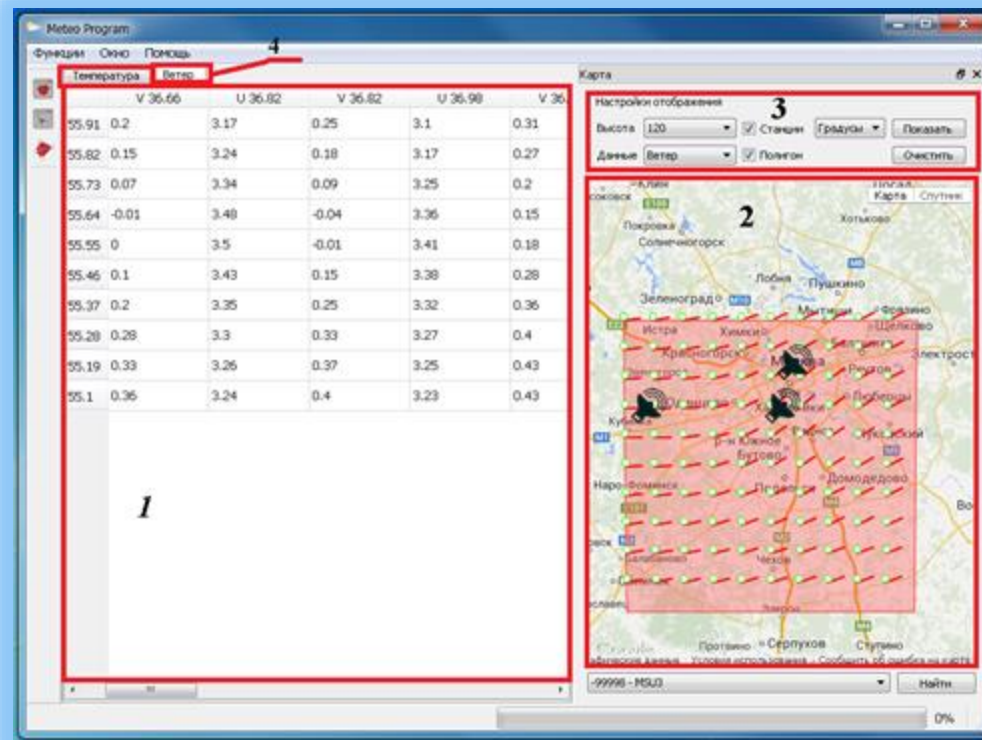


Рис. Диалоговое окно Объективного анализа

ОБРАБОТКА И ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

Таблица 1. Экспериментальные станции

№ измерительной точки	Расположение. Географические координаты	Расстояние между измерительным и станциями	Сроки содарных измерений
1. Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова	55°44'20"СШ 37°37'24"ВД	2– 7.3 км 3- 21 км	18-19 .04. 2011г. 17-18. 04. 2012 г.
2. Физический факультет МГУ	55°42'00" СШ 37°31'46" ВД.	1– 7.3 км 3- 14 км	18-19 .04. 2011г. 17-18. 04. 2012 г.
3. Звенигородская научная станция ИФА	55°36'СШ 36°84'ВД	1– 21 км 2- 14 км	18-19 .04. 2011г. 17-18. 04. 2012 г.

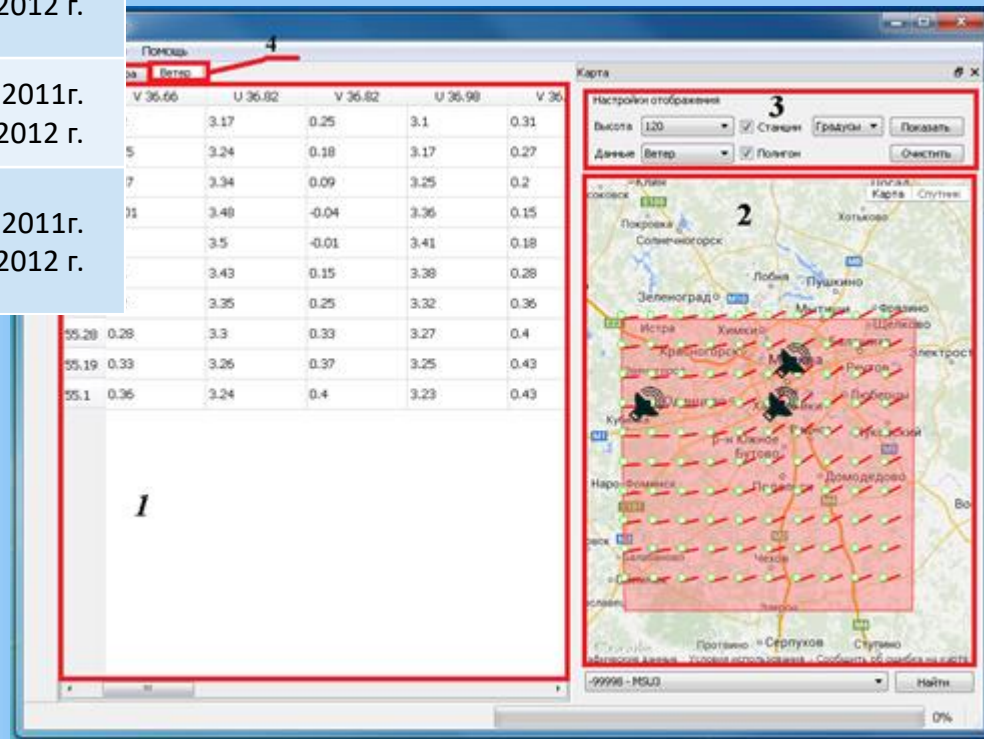
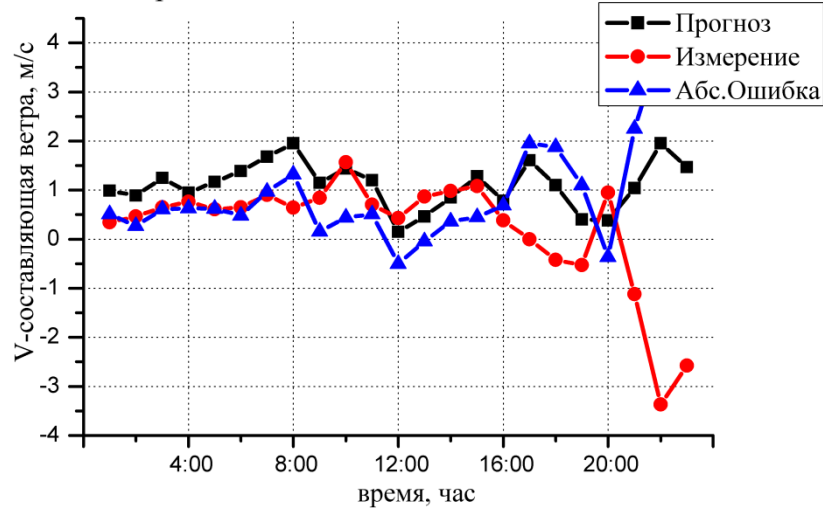


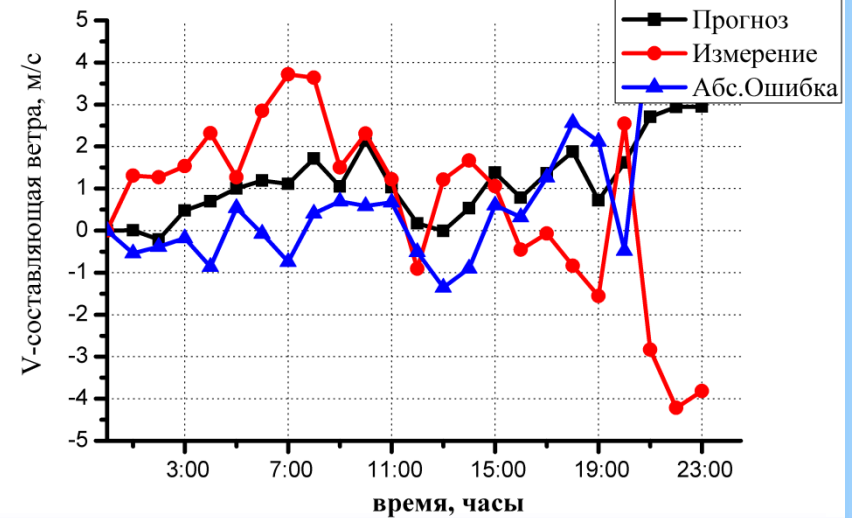
Рис.5 Расположение станций на карте

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ СТАНЦИИ - ИФА им. Обухова

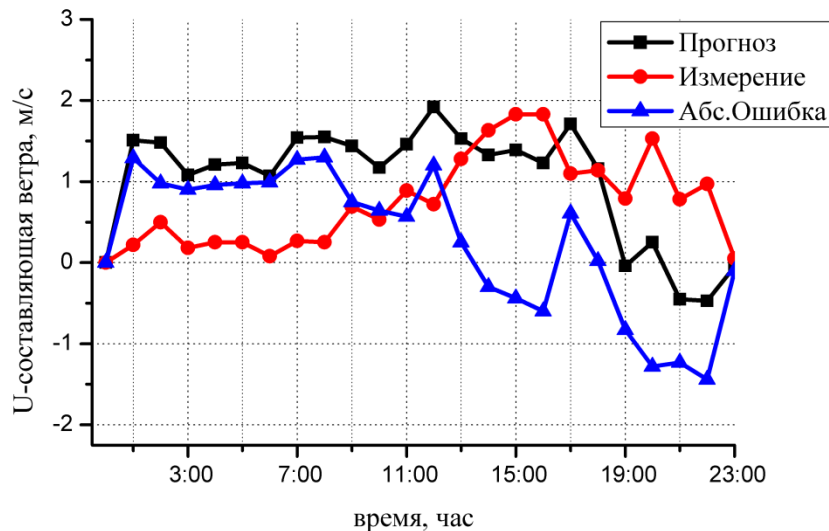
19.10.11, контрольная станция 5544N 3736E , высота 80м



19.10.11, контрольная станция 5544N 3736E , высота 140м



19.10.11, контрольная станция 5544N 3736E , высота 80м



19.10.11, контрольная станция 5544N 3736E , высота 140м

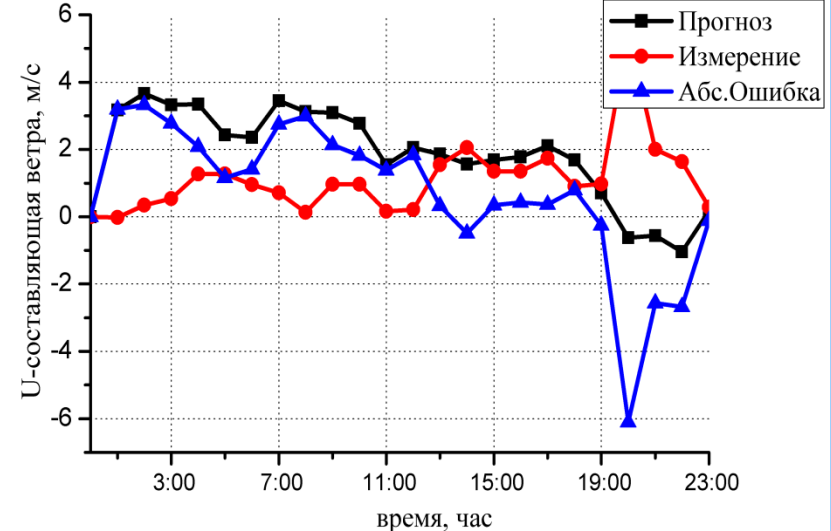


Рис12. Результаты временного прогноза

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ СТАНЦИИ - ИФА им. Обухова

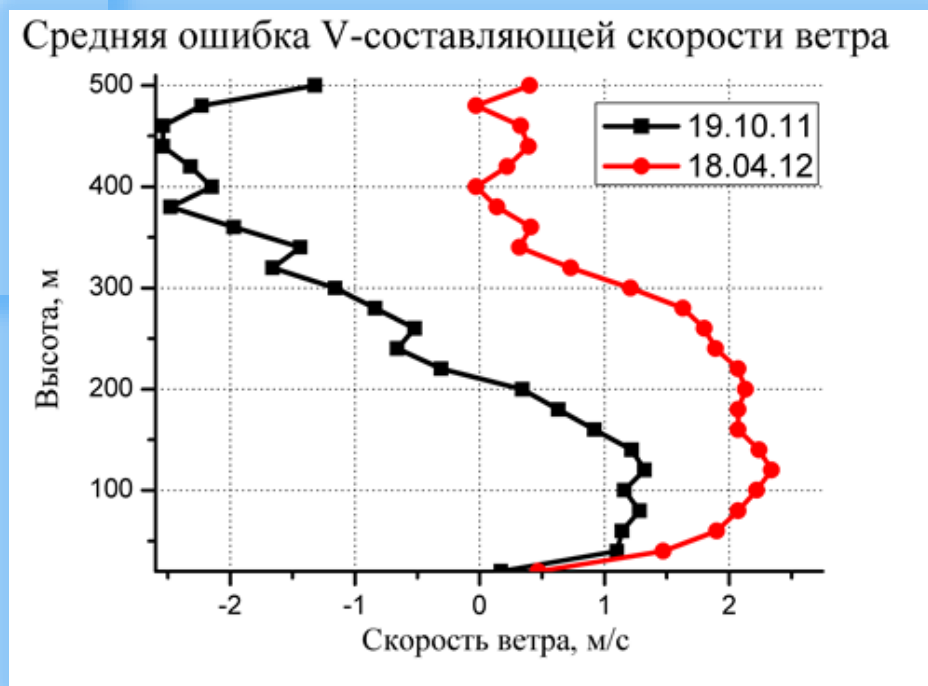
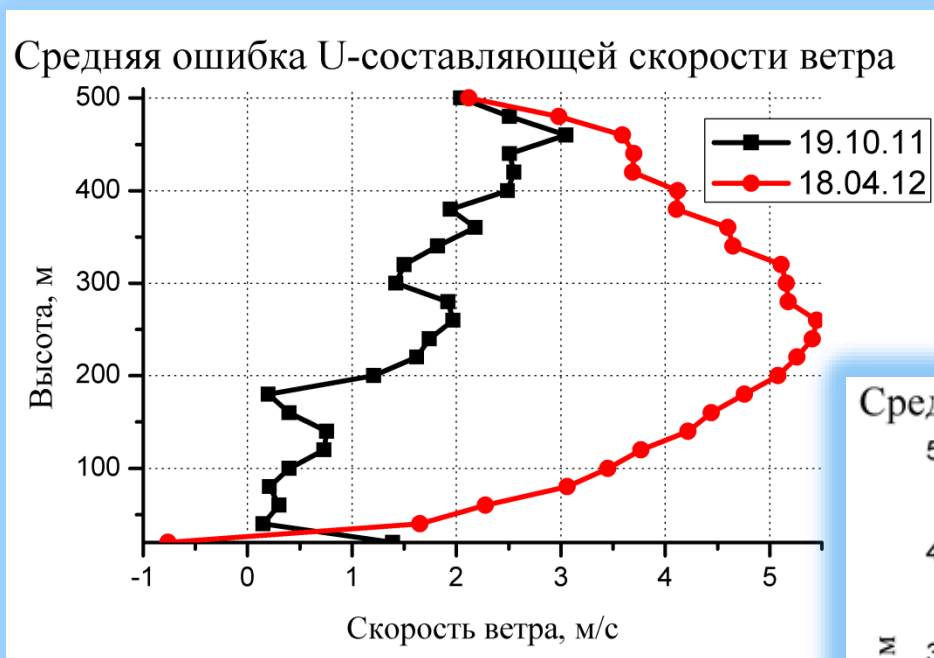


Рис. 7 Результаты временного прогноза
(средняя абсолютная ошибка по 24 часам)

АПК с ПАК позволяет восстанавливать и прогнозировать поля метеорологических параметров – скорости ветра (3 компоненты), температуры, турбулентности, со следующими характеристиками:

дальность экстраполяции в горизонтальной плоскости	до 100 км;
высота слоя экстраполяции	до 2 км;
заблаговременность прогноза часов;	до 12

диапазоны изменения скоростей ветра:

горизонтальный ветер м/с;	0.2...30
вертикальный ветер	± 2 м/с;
точность прогнозирования	± 2 м/с;
достоверность прогноза	0,8.

Использование МАП позволяет:

повысить точность верификации ДМИ;

калибровать дистанционные средства контроля

обеспечить измерения вертикальных профилей метеовеличин в заданных точках территории, где отсутствуют дистанционные средства измерения, с позиционированием по GPS, автоматическим взлетом, зависанием на заданных высотах и автоматической посадкой;

обеспечить оперативность и любую требуемую периодичность измерений;

расширить возможности стационарных дистанционных измерителей на контролируемой территории.

Спасибо за внимание!